دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

محاسبه سطح مقطع تولید ذره j/ψ در برخورد هسته های سرب – سرب در انرژی های بالا

استاد راهنما:

دکتر فرهاد ذوالفقارپور

توسط:

سیدمحمد طباطبائی

دانشگاه محقق اردبیلی

زمستان **1391**

محاسبه سطح مقطع تولید ذره J/ψ در برخورد هسته های سرب – سرب در انرژی های بالا

توسط:

سیدمحمد طباطبائی

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک هسته ای

از

دانشگاه محقق اردبیلی

اردبیل-ایران

ارزیابی وتصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: .....عالی.....

دکتر فرهاد ذوالفقارپور (استاد راهنماو ریس کمیته) .....استادیار

دکتر داریوش رضایی (داورداخلی) ..... دانشیار

دکتر قادر نجارباشی (داورداخلی) ..... استادیار

اسفند ۱۳۹۱

تقدیم به مادر مهربان و دلسوزم و

روح پدر بزرگوارم

و تقدیم به همسر عزیز و مهربانم

که همواره با تشویق های گرم و صمیمی خود مرا در مراحل انجام این پروژه همراهی کردند

تقدیر و سپاس

حمد و ستایش تنها زیبنده خدایی است که پروردگار جهانیان است. در سایه لطف و عنایت او بود که این راه پر فراز و نشیب به سرانجام رسید، او بود که دستان لرزانم را گرفت، دل نگرانم را قوت داد و تا بلندای رهایی هدایتم کرد و من همواره می بایست سجده شکر و سپاسگزاری به درگاهش بجا آرم که بنده را سپاس و سرسپاری پیش معبود می باید.

همچنین بر خود لازم می دارم که از صمیم قلب، از سر اخلاص و بدون اغراق از زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر فرهاد ذوالفقارپور که همواره بارویی گشاده و مناعت طبع در تمامی مراحل این پژوهش مرا راهنمایی کرده اند و در این راه از هیچ مساعدتی دریغ نفرموده اند، تشکر و قدردانی کنم.

نام خانوادگی دانشجو: سید محمد نام: طباطبائی

عنوان پایان نامه:

محاسبه سطح مقطع تولید ذره j/ψ در برخورد هسته های سرب - سرب در انرژی های بالا

استاد راهنما: دکتر فرهاد ذوالفقارپور

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک گرایش: هسته‌ای دانشگاه: محقق اردبیلی

دانشکده: علوم تاریخ دفاع: 1391/12/8 تعداد صفحه:84

چکیده:

نتایج حاصل از پراکندگی الکترون از نوکلئون در سال 1969 در شتاب دهنده خطی استانفورد بیانگر وجود ساختار داخلی برای نوکلئون های آزاد بود و نشان می داد که پروتون‌ها و نوترون‌ها ذرات بنیادی نبوده و دارای ساختار داخلی‌اند. تحقیقات انجام گرفته در این زمینه نشان می داد که پروتون‌ها و نوترون‌ها ازذراتی به نام کوارک تشکیل شده اند و دارای ساختار داخلی هستند. در این پروژه ابتدا فرض می شود که هسته سرب از 82 پروتون و 126 نوترون تشکیل یافته سپس برای پروتون و نوترون ساختار داخلی در نظر می گیریم. در این مدل پروتون و نوترون از سه کوارک ظرفیت و دریای کوارک و پاد کوارک و دریای گلئونی تشکیل شده اند. با توجه به اینکه کوارک و پاد کوارک ها در برخورد رودررو نابود شده و ذره j/ψ تولید می نماید لذا با این فرض می توان با محاسبه و مشخص کردن تابع توزیع کوارک و دریای کوارکی داخل پروتون و نوترون می توان توزیع کوارک و کوارک های دریا را در داخل هسته سرب محاسبه نمود و سپس با استفاده از آنها و فرایند درل یان سطح مقطع تولید ذره j/ψ را در برخورد دو هسته سرب در انرژی بالا بدست آورد. در این پروژه ابتدا با نوشتن برنامه فرترن تابع توزیع کوارک های ظرفیت و دریا را در داخل پروتون و نوترون سپس در داخل هسته سرب بدست آورده و سپس در چارچوب فرآیند درل یان محاسبات لازم برای محاسبه سطح مقطع تولید ذره j/ψ در برنامه فرترن در نظر گرفته می شود. در آخر نیز سطح مقطع بدست آمده با نتایج تجربی در دسترس مقایسه می شود.

کلید واژه‌ها: 1- فرآیند درل یان 2- سطح مقطع 3- برخورد هسته های سنگین 4- ذره j/ψ 5- انرژهای بالا

فهرست مطالب

فصل اول: مروری بر ذرات بنیادی و ساختار داخلی هادرون ها

مقدمه..... 2

1-1- فیزیک ذرات بنیادی..... 3

۱-۲- کوارک ها..... 5

1-2-1- تولید جت دلیلی بر وجود کوارک..... 9

۱-3- لپتون ها..... 10

۱-4- هادرون ها..... 11

۱-۵- باریون ها..... 12

۱-۶- هیپرون ها..... 12

1-7- مزون ها..... 12

۱-7-1- پی مزون (پایون)..... 13

1-7-2- کا مزون(کائون)..... 14

۱-۸- کرومو دینامیک کوانتومی..... 14

۱-9- بوزون ها..... 15

1-10- گلئون ها 15

1-11-گراویتون ها..... 16

۱-12- مدل استاندارد و نیروهای چهارگانه..... 16

فصل دوم: پراکندگی لپتونی از هسته ها و متغیر بیورکن

مقدمه..... 19

2-1- پراکندگی..... 19

۲-۲- پراکندگی رادرفورد..... 22

2-3- پراکندگیMott 23

2-4- پراکندگی الکترون..... 24

۲-۵- پراکندگی دیراک..... 25

۲-۶- فرم فاکتور (عامل ساختار)..... 25

۲-۷- فرم فاکتور نوکلئونی..... 27

۲-۸- پراکندگی کشسان الکترون-پروتونep..... 28

۲-۹- پراکندگی ناکشسان ژرف الکترون-پروتون $ep \to ex$..... 32

2-10- متغیر بیورکن..... 35

فصل سوم: تولید مزون j/ψ در برخوردهای هادرون- هسته

3-1- مقدمه..... 41

3-2- تولید j/ψهادرونی..... 43

3-3 توزیع های پارتون در هسته..... 46

3-4- برهم کنش های حالت نهایی..... 53

3-4-1- روش $SIMS$ با و بدون شفافیت رنگ..... 53

3-4-2- پراکندگی نرم چندگانهٔ جفت $c\bar{c}$ رنگین..... 55

3-5- نتایج عددی و بحث ها..... 56

فصل چهارم: محاسبه سطح مقطع تولید مزون j/ψ در برخورد هسته های سرب – سرب، بحث و نتیجه گیری

مقدمه..... 67

4-1- تابع ساختار هسته سرب..... 67

4-2- سطح مقطع.....75

4-3-مزون j/ψ.....76

4-4- محاسبه سطح مقطع تولید ذره j/ψ در برخورد هسته های سرب – سرب.....77

4-5-بحث و نتیجه گیری و پیشنهاد.....82

فهرست منابع و مآخذ 83

فهرست جدول ها

جدول ۱-۱: بار و جرم تقریبی کوارک ها..... 7

جدول ۱-2: نیروهای موجود در طبیعت و ذرات حامل آنها [7]..... 17

جدول 3-1: مقادیر پارامترها برای $R^{q}_{A/D}$ تعریف شده در معادلهٔ (3-12)..... 48

جدول 3-2: مقادیر پارامترها برای $R^{g}_{A/D}$ تعریف شده در معادلهٔ (3-13)..... 51

جدول 4-1: اعداد اشغال برای پروتون و نوترون هسته $^{208}_{82}Pb$ در هر لایه که به صورت $(g^{pn}_{nl}, g^{n}_{nl})$ نشان داده شده است..... 69

جدول4-2: پارامترهای مورد استفاده در مدل لایه ای که طبق رابطه (4-14) به دست آمده اند..... 71

جدول4-3: مشخصات مزون j/ψ..... 76

جدول 4-4: مقایسه سطح مقطع بدست آمده در این پژوهش با نتیجه ی تجربیآزمایش شماره ی CERN-NA-050 در $\sqrt{s} = 158\ Gev$..... 81

فهرست شکل ها

شکل1–1: تقسم بندی ذرات بنیادی در مدل استاندارد.....4

شکل1–2: نمودار فاینمن تولید جت.....9

شکل1–3: تولید جت در نتیجه ی ایجاد کوارک و پاد کوارک درون هادرون.....10

شکل 2–1: پایین‌ترین مرتبه پراکندگی الکترون از ابر الکترونی.....28

شکل ۲–۲: اولین مرتبه پراکندگی کشسان الکترون–پروتون.....30

شکل ۲-۳: عامل‌های ساختار الکتریکی و مغناطیسی پروتون و نوترون 32

شکل 2–4: اولین مرتبه پراکندگی ناکشسان $\boldsymbol{ep \to eX}$.....33

شکل ۲–۵: سطح مقطع دیفرانسیلی بر حسب جرم از دست رفته در پراکندگی $ep \to eX$.....33

شکل ۲–۶: برهمکنش فوتون مجازی با ذرات تشکیل‌دهنده پروتون به صورت کشسان می‌باشد.....36

شکل 2–7: (a) پراکندگی کشسان $ep \to ep$ فوتون با طول موج بزرگ ابعاد پروتون را اندازه می‌گیرد. (b) پراکندگی ناکشسان فوتون با طول موج کوچک ذرات تشکیل دهنده پرتون را نمایان می کند.....36

شکل 3–1: نمودارهای فاینمن برای تولید جفت از طریق (a) نابودی کوارک های سبک (b) کوارک های افسون سبک و (c) گداخت دو گلوئون.....44

شکل 3–2: نسبت سطح مقطع های گداخت گلئون و کوارک در برخوردهای دوترون– پروتون به مجموعشان به عنوان تابعی از x_F 45

شکل 3–3: مقایسهٔ داده های NMC برای نسبت توابع ساختار برای اهداف هسته ای به دوتریوم.....49

شکل 3–4: مقایسهٔ داده های $E665$ با نسبت توابع ساختاری برای Xe به دوتریوم.....50

شکل 3–5: نسبت توزیع گلوئون برای هسته های گوناگون به دوتریوم.....52

شکل 3–6: نسبت سطح مقطع تولید j/ψ برای اهداف هسته ای مختلف به دوتریم در $\sqrt{s} = 40Gev$ 58

شکل 3–7: نسبت سطح مقاطع تولید j/ψ برای اهداف هسته ای گوناگون به دوتریم در $\sqrt{s} = 40Gev$ 61

شکل 3–8: نسبت سطح مقطع تولید j/ψ برای اهداف هسته ای مختلف به دو تریم در $\sqrt{s} = 40Gev$ 63

شکل 3-9: نسبت سطح مقطع تولید j/ψ به PT در $\sqrt{s}=20Gev$ برای دوتریم.....64

شکل 4-1: مقایسه تابع ساختار پروتون و نوترون آزاد مدل GRV با تابع ساختار اکولینیچو.....72

شکل 4-2: تابع ساختار هسته سرب بر واحد نوکلئون محاسبه شده در این پایان نامه. برای مقایسه تابع ساختار نوکلئون، پروتون و نوترون آزاد GRV و دوترون از مرجع [6] آورده شده است.....73

شکل4-3: نسبت تابع ساختار هسته سرب به نوکلئون، پروتون، نوترون آزاد و دوترون محاسبه شده در این پایان نامه.....74

شکل4-4: نسبت تابع ساختار هسته سرب بر واحد نوکلئون، به نوکلئون آزاد محاسبه شده در این پایان نامه.....75

شکل4-5: محدوده انرژی تولید مزون j/ψ.....77

شکل4-6: نمودار بدست آمده در این پایان نامه برای توزیع کوارکها در $Q^2=4Gev^2$.....78

شکل4-7: نمودار سطح مقطع تولید ذره j/ψ محاسبه شده در برخورد هسته سرب – سرب.....81

مقدمه

فیزیک هسته ای را می توان با 60 ذره بنیادی، شامل 36 کوارک و 12 لپتون و 12 ذره تبادلی و نیروهای هسته ای قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی که مدل استاندارد می نامند تشریح کرد. (البته ذره تبادلی فرضی در نیروی گرانش، گراویتون است که جمعا تعداد ذرات بنیادی 61 عدد می باشد.) با آنکه مدل استاندارد نیاز به بسط دارد ذرات آن برای توصیف جهانی که تجربه می‌کنیم (غیر از گرانش) توسط فیزیکدانان ذرات کافی است. فیزیک ذرات بنیادی از شاخه‌های علم فیزیک می‌باشد که به بررسی اینکه ماده از چه چیزی ساخته شده است می پردازد. در این شاخه از فیزیک به بررسی ماده در بنیادی‌ترین حالت ممکن یعنی کوچکترین اجزای تشکیل‌دهنده که به ذرات بنیادی معروف هستند پرداخته می‌شود. ذرات مورد بررسی در این شاخه را می‌توان توسط آشکارسازهای ذرات نشان داد. با این ذرات نمی‌توان به طور مستقیم آزمایش انجام داد و برای بررسی آزمایشگاهی، از اثرات آنها استفاده می‌شود. بسیاری از اثرات پیش‌بینی شده در این نظریه‌ها در انرژی‌های بالا رخ می‌دهد از این رو به این شاخه، فیزیک انرژی های بالا نیز گفته می‌شود.

تاریخچه

ابتدای فیزیک ذرات را می‌توان به قرن شش پیش از میلاد و کارهای فیلسوفان اتمیست نسبت داد. بررسی ذرات تشکیل‌دهنده ماده در سال ۱۸۹۷ و با کشف الکترون توسط تامسون شروع شد. او مدل اتمی موسوم به مدل خمیری تامسون را معرفی کرد. با آزمایش پراکندگی رادرفورد این مدل رد شد و هسته اتم کشف گردید. رادرفورد مدل اتمی خود به نام مدل رادرفورد را معرفی کرد. در سال ۱۹۱۴ نیلز بور مدل اتمی خود را پیشنهاد کرد. توافق طیف اتم هیدروژن با نظریه بور بسیار جالب بود. در همین دوره هسته هیدروژن را پروتون نامیدند. سرانجام با کشف نوترون توسط چادویک در سال ۱۹۳۲ دوره

کلاسیک ذرات بنیادی به پایان رسید.

در سالهای ۱۹۳۲-۱۹۴۷ سه مبحث مهم در این دوره مطرح گشتند:

۱-مزون‌ها[1]

سوالی که پیش می‌آمد این بود که چه چیزی پروتون‌های با بار مثبت را در هسته در کنار هم نگه می-داشت؟ در سال ۱۹۳۴ یوکاوا[2] وجود نیروی قوی هسته‌ای را پیش‌بینی نمود. انیشتین قبلاً ذره حامل نیروی الکترومغناطیسی را توصیف کرده بود. این ذره فوتون نام داشت. حال سوال این بود که آیا این نیروی جدید را هم می‌شود با یک ذره حامل نشان داد؟ یوکاوا نام ذره پیشنهادی حامل این نیرو را مزون گذاشت. در سال ۱۹۳۷ این ذره در آزمایشگاه کشف شد.

۲-پاد ذره‌ها[3]

در سال ۱۹۲۷ هنگامی که دیراک معادله شرودینگر را به صورت نسبیتی بازنویسی کرد به جواب عجیبی برخورد به ازای هر جواب مثبت انرژی یک جواب منفی نیز بدست می‌آمد. در دهه چهل میلادی فاینمن[4] تعریف ساده‌تری برای این جواب ارائه داد. این جواب‌ها ذرات پاد ماده را توصیف می‌کردند. در سال ۱۹۳۱ پاد ماده الکترون و در سال ۱۹۵۵ پاد ماده پروتون در آزمایشگاه کشف شدند. بدین ترتیب برای هر ذره بنیادی یک ذره دیگری وجود دارد که آن را پاد ماده می‌نامند. به عنوان مثال پاد ماده الکترون، پوزیترون است که تنها از نظر الکتریکی با هم تفاوت دارند. ماده و پاد ماده یکدیگر را جذب کرده و به انرژی تبدیل می‌شوند. به همین دلیل آنها را پادماده می‌نامند. توجه شود که پاد ماده تنها یک اصطلاح است که از نظر فیزیکی هردوی آنها ماده می‌باشند.

۳-نوترینوها[5]

در سال ۱۹۳۰ بررسی واپاشی هسته خواص عجیبی را نشان می‌داد. مقداری از انرژی طی واپاشی گم می‌شد. پاولی پیش‌بینی کرد که ذره‌ای دیگر این انرژی را با خود حمل می‌کند. این ذره را نوترینو نامیدند. نوترینو سال‌ها بعد در آزمایشگاه کشف شد. با این اکتشافات گمان می رفت که تمام ذرات بنیادی یافته شده و شکل توضیح داده نشده‌ای وجود ندارد.

جنگل ذرات

[1] Mesons
[2] Yukawa
[3] Antiparticles
[4] Feynman
[5] Neutrinos

در سال ۱۹۴۷ راچستر و باتلر در اتاقک ابر پدیده‌ای جدید را مشاهده کردند. این یک ذره جدید بود پس از آن موجی از اکتشافات ذرات جدید به راه افتاد این ذرات جدید را ذرات شگفت نامیدند چون خواص شگفتی داشتند. تعداد زیاد این ذره‌ها و اینکه نمی توانستند این ذرات را دسته‌بندی کنند سردرگمی زیادی در فیزیک ذرات بنیادی بوجود آورد.

مدل کوارک و راه هشت‌گانه

در سال ۱۹۶۱ موری گلمن[1] روشی برای دسته‌بندی ذرات کشف شده ارایه کرد. او جدولی را به نام راه هشت‌گانه مطرح نمود که توسط آن می‌شد ذرات بنیادی کشف شده را دسته‌بندی کرد. این کار شبیه به جدول تناوبی مندلیف بود. بر اساس این جدول در سال ۱۹۶۴ گلمن پیشنهاد کرد [۱] که در واقع این ذرات کشف شده خود از ذرات ریزتری تشکیل شده‌اند که این ذرات را کوارک[2] نامید. مدل کوارکی بسیاری از خواص ذرات را بدرستی پیش‌بینی می‌کرد ولی بنیان تجربی برای درستی مدل کوارکی وجود نداشت. برای ذرات بنیادی سه خانواده اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از کوارک‌ها، لپتون‌ها[3] و ذرات تبادلی[4]. فیزیکدانان علاوه بر تعیین بار کوارک داخل نوکلئون توانستند سهم کوارک در تکانه داخل نوکلئون را که با سرعت حرکت می‌کرد تعیین کنند. مشارکت نسبی هر کوارک در تکانه کل نوکلئون با پارامتر x نشان داده می‌شود. مقدار این پارامتر بین صفر و یک است. از ترکیب کوارک‌ها می‌توان ذراتی را ساخت که این ذرات هادرون‌ها نامیده می‌شوند. هادرون‌ها به دو دسته باریون‌ها[5] و مزون‌ها تقسیم می شوند. رده‌بندی ذرات به صورتی خاص که اکنون برای توصیف ذرات بنیادی در چارچوب برهمکنش-های شناخته شده بکار می‌رود را مدل استاندارد می‌گویند.

وقتی نوکلئون‌های پرانرژی به یکدیگر برخورد می‌کنند نتیجه حاصل دارای پیچیدگی بیشتری است. صدها ذره جدید به عنوان محصول این واکنش‌ها پدیدار می‌شوند. مطالعه فیزیک ذرات طی سالیان متمادی در واقع همان وضعیت فیزیکی قبل از بوهر را داشت. درست همانطور که نظم، ترتیب و طبقه-بندی ویژگی‌های اتمی به مدل بوهر و مکانیک جدید کوانتومی انجامید، نظم، ترتیب و طبقه‌بندی ویژگی‌های ذرات سبب پیدایش مدل کوارکی و سیستم مکانیکی به نام کرومودینامیک کوانتومی QCD[6]

[1] Gell Man
[2] Quark
[3] Leptons
[4] Exchange Particles
[5] Baryons
[6] Quantum Chormodynimecs

شد. توزیع زاویه‌ای ذرات پراکنده نشان می‌دهد که نوکلئون‌ها حالت‌های مقیدی از سه ذره نقطه‌ای باردارند. آزمایش‌های پراکندگی ناکشسان ژرف[1] از هدف‌های پروتون و دوترون در سال ۱۹۶۰ در شتاب‌دهنده خطی استانفورد[2] نشان داد [۲،۳] که نوکلئون‌ها از ذرات نقطه‌ای کوچکی تشکیل یافته‌اند و بر خلاف الکترون و میون[3] ذرات بنیادی نمی‌باشند. تصور بر این بود که ساختار داخلی نوکلئون آزاد با ساختار داخلی نوکلئون مقید در داخل هسته یکسان باشد. در سال ۱۹۸۳ گروه تحقیقاتی EMC[4] با استفاده از پراکندگی ناکشسان ژرف میون از هسته نسبت تابع ساختار هسته آهن به تابع ساختار هسته دوترون را در واحد نوکلئون اندازه‌گیری نمودند که بر خلاف انتظار برابر یک نبود [۴]. این پدیده به عنوان اثر EMC شناخته شده است که بیانگر این است که توزیع اجزای تشکیل‌دهنده نوکلئون‌های مقید متفاوت از نوکلئون‌های آزاد است. در این پایان‌نامه برای مطالعه تابع ساختار هسته‌ای از فرمولبندی درهمروی هسته‌ای استفاده می‌کنیم. نتایج تجربی نشان می‌دهند که سطح مقطع پراکندگی واحد نوکلئونی بین یک فوتون و هسته با افزایش عدد جرمی هسته‌ها کاهش می‌یابد که آن را بدین صورت می‌توان توجیه کرد که فوتون ورودی بیشتر توسط نوکلئون‌های نزدیک سطح هسته پراکنده شده و فرصت کافی برای پراکنده شدن از نوکلئون‌های داخلی را پیدا نمی‌کند این پدیده به اثر سایه معروف است و در تشابه با پراکندگی الکترون از هسته‌ها می‌باشد و بدون در نظر گرفتن این اثر در x های کوچک نتایج نظری با نتایج تجربی همخوانی نخواهد داشت [۹].

در این رساله در فصل اول به مطالعه ذرات بنیادی می‌پردازیم. در فصل دوم ابتدا پراکندگی از توزیع بار نامعلوم را مورد بررسی قرار می‌دهیم سپس پراکندگی الکترون از پروتون را مورد بحث قرار داده و نشان می‌دهیم سطح مقطع پراکندگی از ذرات دارای ساختار داخلی متفاوت از ذرات بدون ساختار می باشد.در فصل سوم، تولید ذره j/ψ در برخورد هادرون– هسته را مورد بررسی قرار می دهیم. و در فصل چهارم، ابتدا تولید مزون j/ψ در برخورد هسته های سرب – سرب را توضیح داده و سطح مقطع تولید آن را در این برخورد محاسبه کرده و مشاهده می کنیم که نتایج بدست آمده در این پایان نامه با نتایج تجربی در دسترس، سازگاری خوبی نشان می دهد ودر آخر به بحث و نتیجه گیری خواهیم پرداخت.

[1] Deep Inelastic Scattering
[2] SLAC
[3] Muon
[4] European Muon Collaboration

فصل اول:

مروری بر ذرات بنیادی و ساختار داخلی هادرون ها

مقدمه

جهان بزرگ ترین مجموعه ممکن است که از ذرات بنیادی تشکیل یافته است. این ذرات توسط نیروهای گرانشی، الکترومغناطیسی و هسته ای ضعیف و قوی به هم پیوند یافته اند. سلسله مراتب ساختمانی آن در فضا و سیر تکامل آن توسط ویژگی های ذرات بنیادی و برهمکنش آنها اداره می شود. بنابراین تشریح ساختمان جهان و تکامل آن بر اساس خواص و برهمکنش ذرات بنیادی صورت می گیرد. فیزیک ذرات بنیادی بخشی از فیزیک است و موضوع مورد مطالعه فیزیک ذرات بنیادی این است که بداند جهان از چه ذراتی ساخته شده و این ذرات چگونه در کنش با یکدیگر هستند. در حدود سال ۱۹۰۰ تصور می شد که اتم سنگ بنای جهان است و غیرقابل تجزیه می باشد اما بزودی مشخص شد که اتم از یک هسته مرکزی با بار الکتریکی مثبت و تعدادی الکترون که در اطراف آن در گردشند تشکیل شده است. هنگامی که هسته مورد بررسی قرار گرفت دانشمندان متوجه شدند که هسته از پروتون با بار الکتریکی مثبت و نوترون که از نظر الکتریکی خنثی است تشکیل شده و الکترون ها در اطراف آن در گردش اند. هر چه تحقیقات روی هسته بیشتر انجام شد ذرات جدیدی کشف شدند. تحقیقات بیشتر نشان داد که پروتون ها و نوترون ها نیز از ذرات دیگری به نام کوارک ساخته شده اند. سرانجام فیزیکدانان، ذرات سازنده ماده را به دو دسته لپتون ها و کوارک ها تقسیم کردند. در این تقسیم بندی هادرون‌ها از جمله پروتون‌ها و نوترون‌ها ذرات بنیادی نیستند و از کوارک‌ها ساخته شده‌اند. همه اجسام پایدار از یک نوع لپتون (الکترون) و دو کوارک بالا[1] و پایین[2] ساخته شده‌اند که ترکیب این دو کوارک به صورت پروتون و نوترون ظاهر می شود. با توجه به مطالب بالا مدل استاندارد ذرات بنیادی شامل شش عدد کوارک، شش عدد لپتون و چهار بوزون که نیروها را حمل می کنند، می باشد.

در این فصل به مطالعه ذرات بنیادی می پردازیم.

[1] Up
[2] Down

1-1- فیزیک ذرات بنیادی

عملاً از سال ۱۸۹۷ که الکترون توسط تامسون کشف شد فیزیک ذرات بنیادی متولد گردید. از آن پس ذرات بنیادی به تدریج کشف شدند. ذره بنیادی به ذره‌ای گفته می‌شود که هیچ ساختار داخلی ندارد یا حداقل تاکنون ساختار داخلی برای آن مشخص نشده است. لذا این ذره یکی از واحدهای اساسی برای ساختمان جهان می‌باشد. دنیای ذرات بنیادی هم از نظر تنوع ذرات و هم از نوع تأثیرات و تبدیلات متقابل دنیای غنی محسوب می‌شود. ذرات بنیادی دیده نمی‌شوند و فقط از اثری که می‌گذارند و یا پدیده‌هایی را که سبب می‌شوند پی به وجودشان برده می‌شود. برخی خواص ذرات بنیادی از تعمیم مفاهیم فیزیک کلاسیک ناشی می‌شود مانند جرم، انرژی و بار الکتریکی، برخی دیگر از خواص ذرات بنیادی ریشه در مکانیک نسبیتی دارد مانند زمان ویژه و طول ویژه. ذره بنیادی بوسیله جرم، بار الکتریکی و اسپین‌اش مشخص می‌شود. جرم ذرات بنیادی بسیار کوچک است از این رو آنها را می‌توان به سرعت بالایی رساند مانند فوتون‌ها که بدون جرم بوده و بالاترین سرعت ممکن، سرعت نور را دارا هستند.

در مدل استاندارد ذرات بنیادی در دو گروه اصلی دسته‌بندی می‌شوند (شکل (1-1)):

۱-بوزون: به اسم فیزیکدان هندی ساتیندرانات بوز[1] ذرات بنیادی با اسپین صحیح را بوزون می‌نامند که خود شامل فوتون، گلئون، Z^0، W^+، W^- است. بوزون‌ها ذراتی هستند که نیروها را حمل می‌کنند.

۲-فرمیون: به اسم فیزیکدان ایتالیایی انریکو فرمی[2]، ذرات بنیادی با اسپین نیمه صحیح را فرمیون می‌نامند. همه مواد در جهان از ترکیب فرمیون‌ها تشکیل یافته‌اند. فرمیون‌های بنیادی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

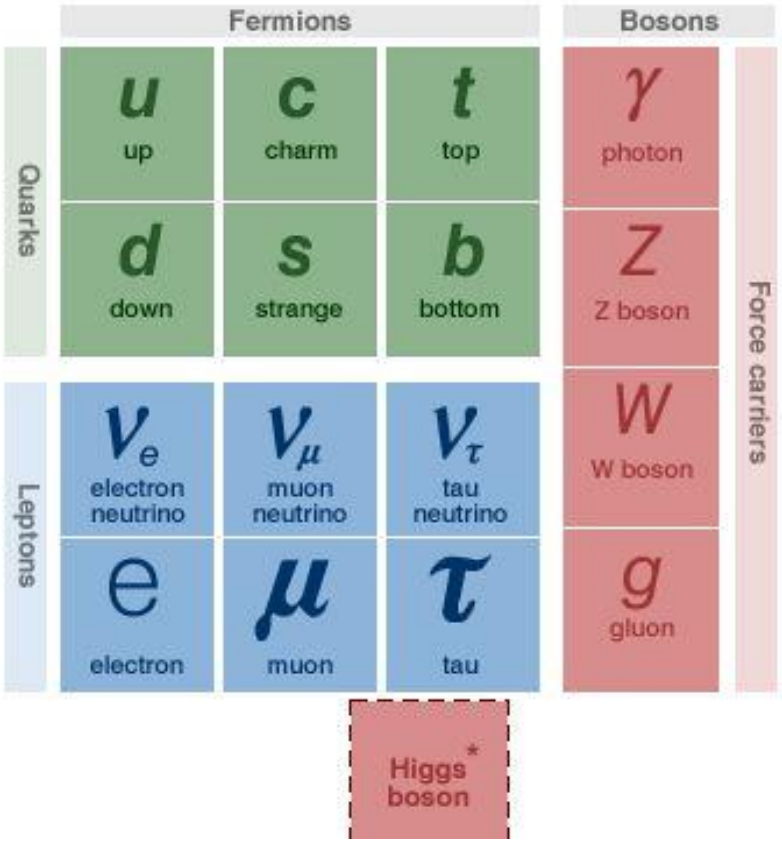
- **لپتون‌ها:** شامل شش جفت ذره و پاد ذره هستند.
- **کوارک‌ها**: جزء اساسی تشکیل‌دهنده ماده هستند که در ادامه به معرفی آنها می‌پردازیم.

ذرات بنیادی اولیه فرمیون‌ها و بوزون‌های بنیادی هستند. ذرات ترکیبی هم عبارت‌اند از هادرون‌ها که شامل باریون‌ها و مزون‌ها هستند. باریون‌ها نیز شامل نوکلئون‌ها (هسته) و هیپرون‌ها و... هستند.

فیزیک ذرات بنیادی فیزیک انرژی بالا نامیده می‌شود. در واپاشی ذرات بنیادی اغلب به گونه‌های جدید ذرات علاقه‌مندیم. انرژی لازم برای ساخت ذرات از انرژی جنبشی اجزای واکنش (اغلب ذره فرودی) تأمین می‌شود و چون این انرژی غالباً خیلی زیاد است این نوع پژوهش را اغلب اوقات فیزیک

[1] Satiendranat Bose
[2] Enrico Fermi

انرژی‌های بالا می‌گویند بنابراین از معادلات نسبیتی برای انرژی و تکانه استفاده می‌شود.



شکل1-1:تقسم بندی ذرات بنیادی در مدل استاندارد

فیزیک ذرات بنیادی به مطالعه ذرات اصلی و تشکیل دهنده مواد و نیروهای بین آنها می پردازد. در فیزیک ذرات با برهمکنش‌های بین ذرات در اساسی‌ترین سطح آن سروکار داریم. هدف از این علم درک قوانین بنیادی حاکم بر تشکیل مواد و جهان مادی است. همچنین این علم یکی از شاخه های اصلی مطالعات علمی بر سر فهم سرچشمه دنیاست. فیزیک ذرات موضوعی جدید است و همه کشف های مربوط به آن از آغاز قرن بیستم به بعد انجام شده است و اساساً با هر ذره بنیادی‌تر از اتم که مواد پایدار را تشکیل می‌دهند و می‌توانیم آنها را ببینیم و همچنین موادی که در انرژی‌های بالا و یا در پیدایش اولیه جهان وجود داشته‌اند، سروکار دارد. این علم همچنین به مطالعه نیروهای حاکم بر این مواد می پردازد. شیوه‌ها و وسایل مخصوصی جهت کشف و یافتن این گونه ذرات باید بکار رود. یکی از ابزارهای اصلی دستگاه شتاب دهنده ذرات است. این وسیله ماشین غول پیکری است که آثار و محصولات حاصل از برخورد میان این ذرات پرسرعت را آشکارسازی می کند. برای اینکه این ذرات انرژی کافی داشته باشند